

第四节 重力资料的整理与图示

一、重力资料的整理

- 野外观测结束后，应将各测点相对于基点的重力差值确定出来，即

$$\Delta g_i' = g_i - g_{\text{基}}$$

- 但这些差值还不能称为重力异常。差值中包含了许多干扰因素的影响（如地形不水平、日变化、测点空间位置不同等因素的影响）

地面上任一点的重力值都由四种因素决定：

影响因素	大小	解决办法
地形起伏	达1,000g.u.	地形校正、中间层校正和高度校正
测点纬度	达500,000g.u.	正常场校正
固体潮	影响较小	可忽略
岩矿石密度变化	10~1,000g.u.	重力异常

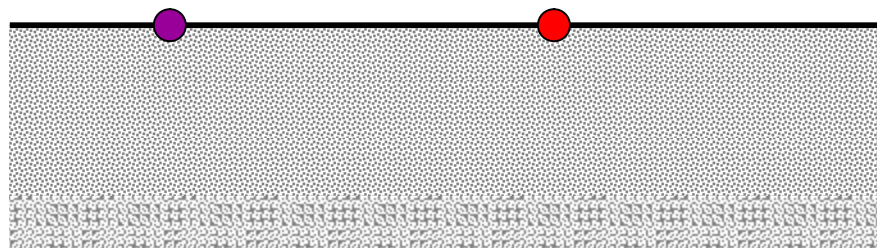
一、重力资料的整理

- 为了获得单纯由地下密度不均匀体引起的重力异常，则必须消除各种干扰因素的影响，通常要进行如下校正：

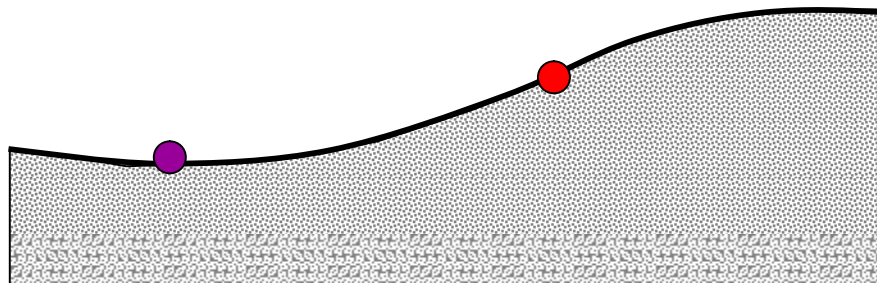
- (1) 地形校正
 - (2) 中间层校正
 - (3) 高度校正
 - (4) 正常场校正
- 消除自然地形起伏干扰
- 消除地球正常重力场影响

1、地形校正（ $\delta g_{\text{地}}$ ）

校正原因：地形起伏往往使得测点周围的物质不能处于同一水准面内，对实测重力异常造成干扰，必须通过地形校正予以消除，又称为地改。

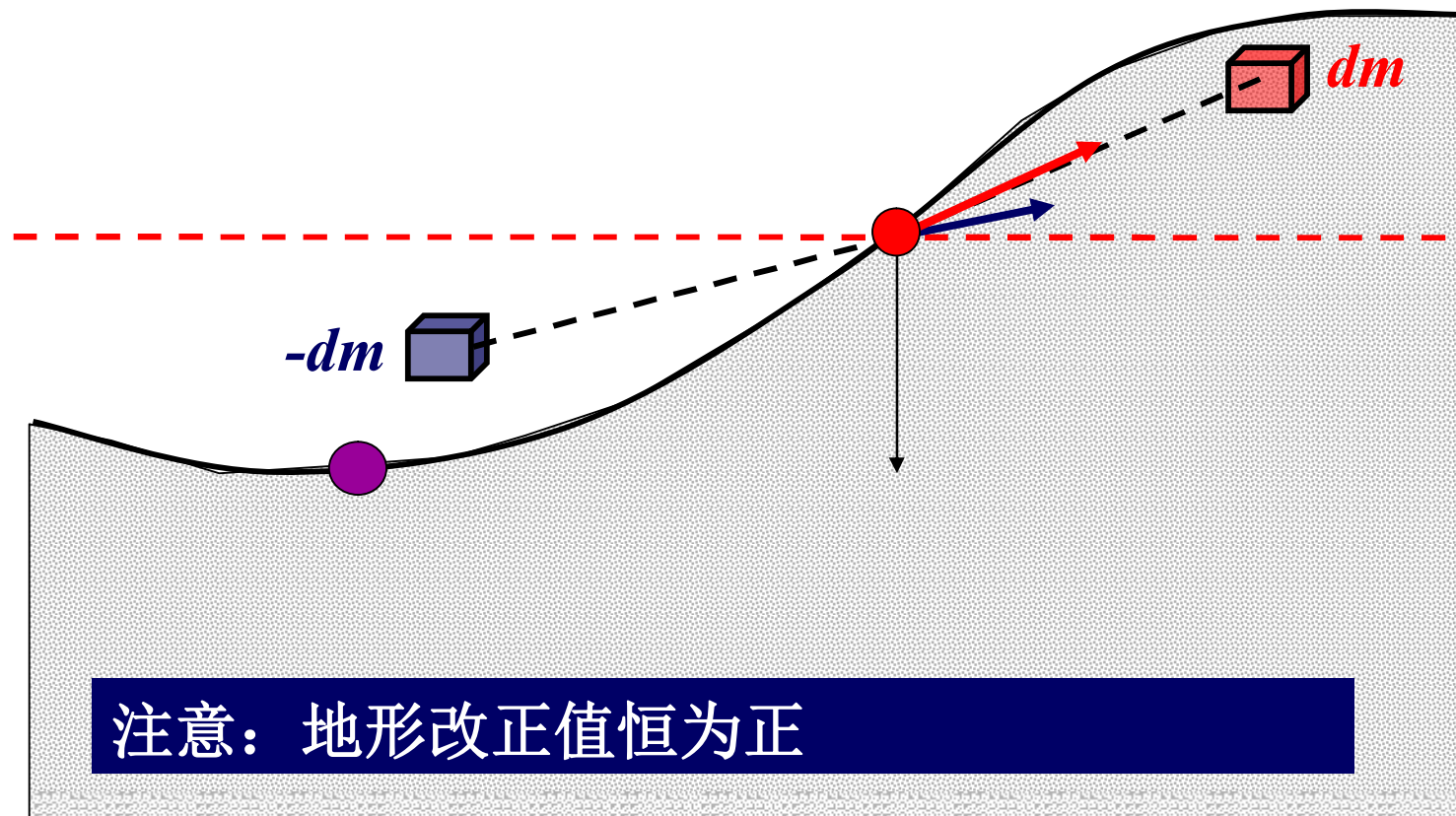


地形平坦
无需地改

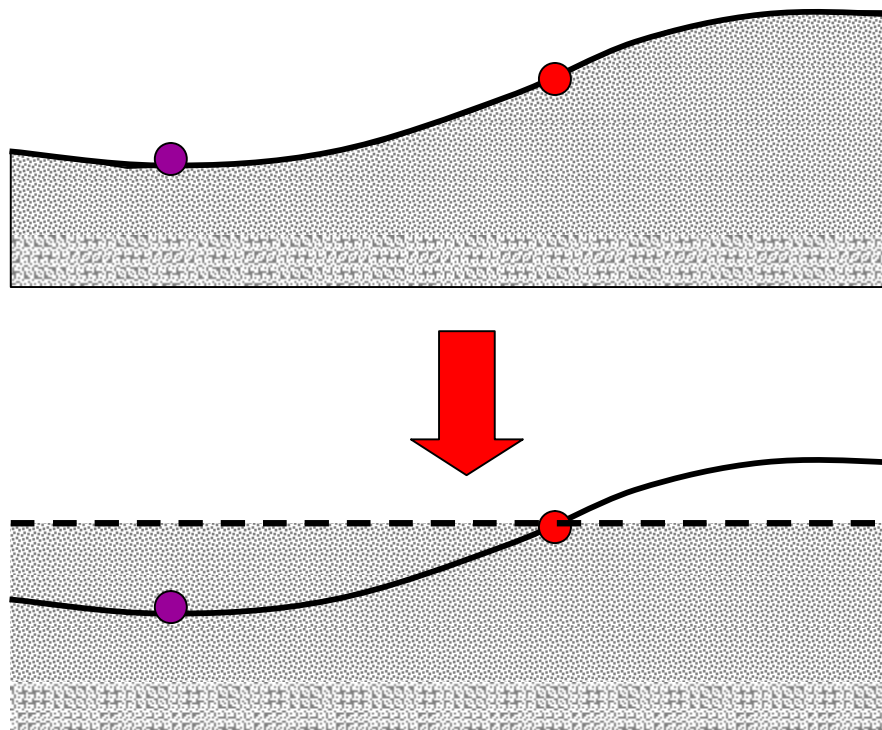


地形起伏
需要地改

1、地形校正 ($\delta g_{\text{地}}$)



1、地形校正 ($\delta g_{\text{地}}$)

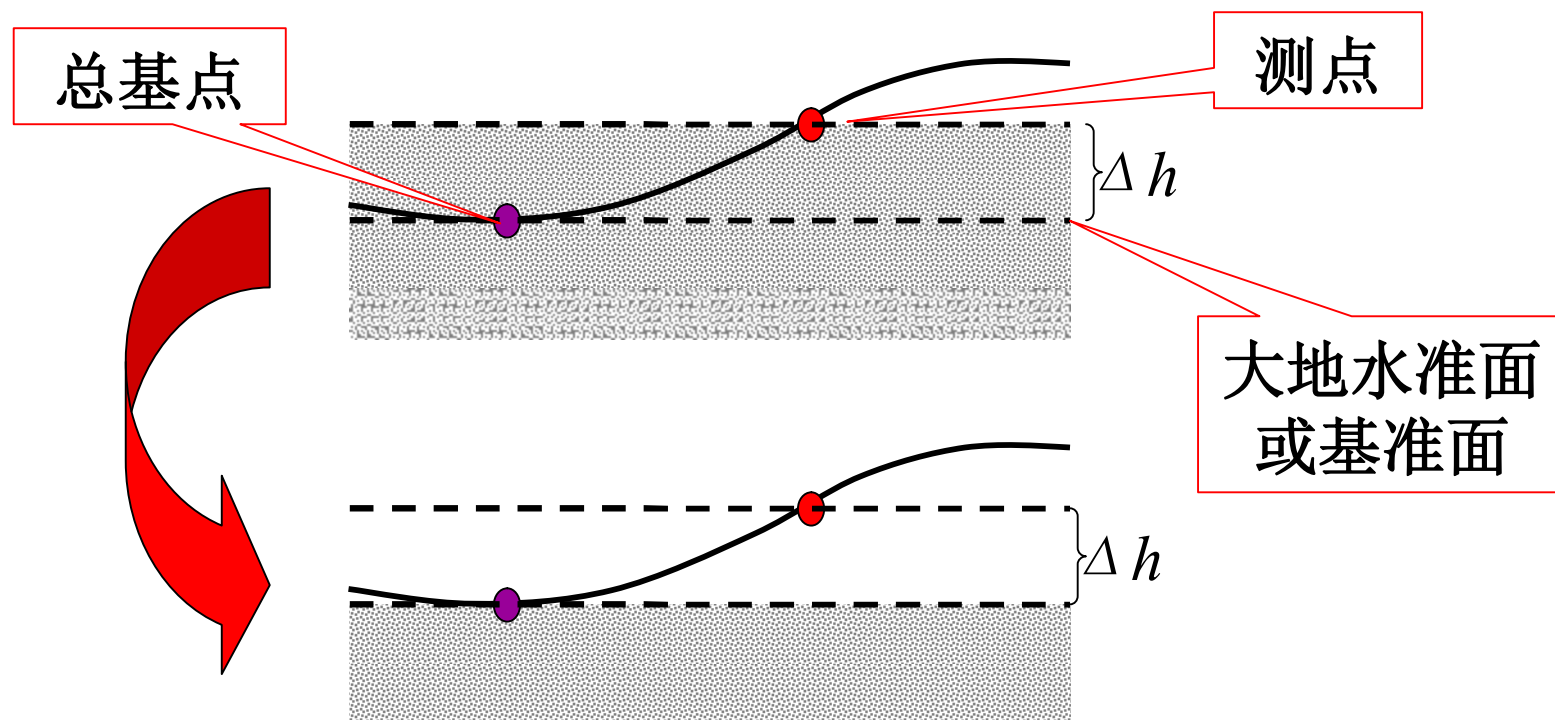


校正办法：除去测点所在水准面以上的多余物质，并将水准面以下空缺的部分用物质填补起来

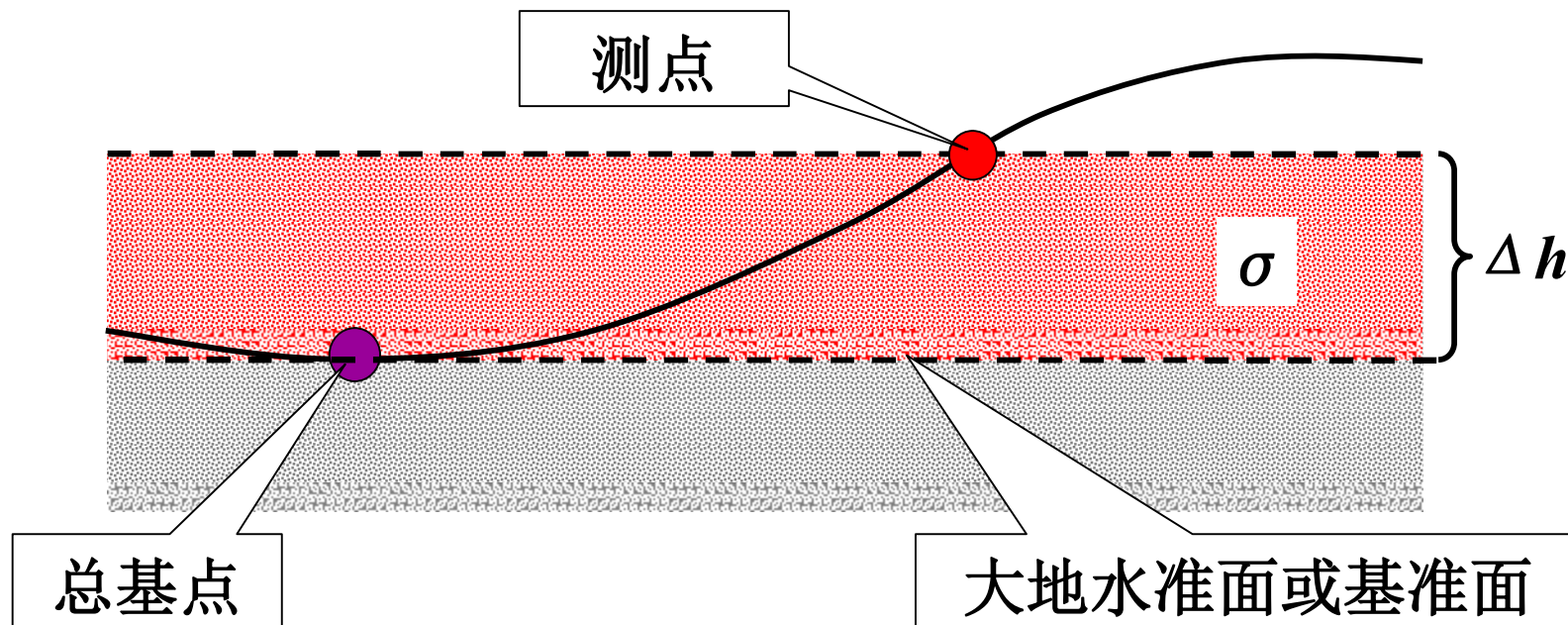
按测网划分扇形小块分别计算校正值。根据距测点的距离，分为近区地改，中区地改和远区地改，

2、中间层改正 ($\delta g_{\text{中}}$)

校正原因：经地形校正后，测点周围的地形变成水准面，但测点所在水准面与大地水准面或基准面（总基点所在水准面）间还存在着一个水平物质层，消除这一物质层的影响就是中间层校正。



2、中间层改正 ($\delta g_{\text{中}}$)



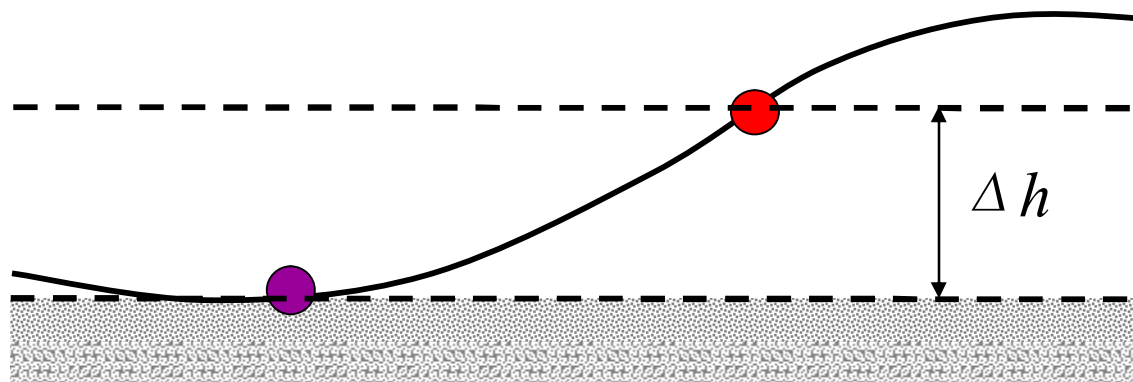
校正办法：中间层可当作一个厚度为 Δh ，密度为 σ 的无限大水平均匀物质面，其校正公式为：

$$\Delta g_{\text{中}} = -0.419 \cdot \sigma \cdot \Delta h \quad (g.u.)$$

测点高于大地水准面或基准面时， Δh 取正，反之取负。
中间层密度通常取为 2.67 g/cm^3 。

3、高度改正 ($\delta g_{\text{高}}$)

校正原因：若把地球当作密度均匀同心层分布的旋转椭球体时，地面每升高1m重力减小约3.086g.u.。经地形、中间层校正后，测点与大地水准面或基准面间还存在一个高度差 Δh ，要消除这一高度差对实测的影响，就要进行高度校正



校正办法： $\delta g_{\text{高}} = 3.086 \cdot \Delta h \quad (g.u.)$

测点高于大地水准面或基准面时， Δh 取正，反之取负

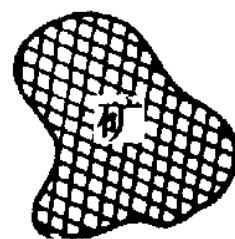
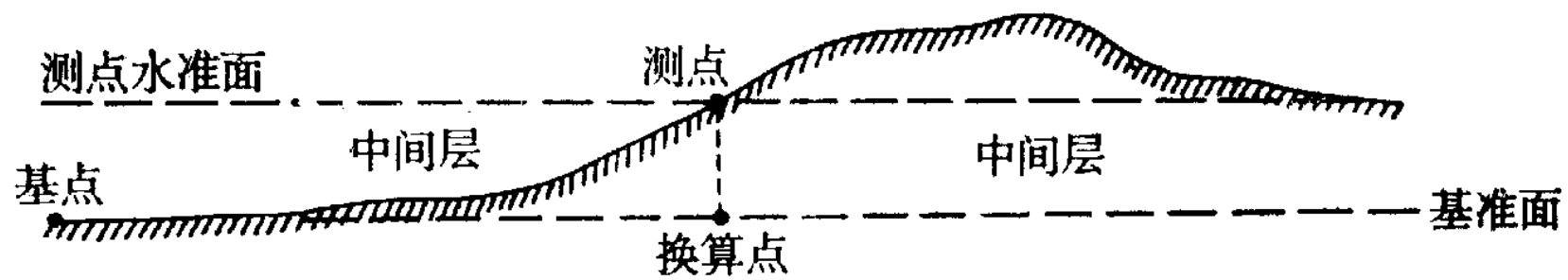
布格校正：高度校正和中间层校正都与测点高程 Δh 有关，将这两项合并起来，统称为布格校正（ $\delta g_{\text{布}}$ ）

$$\delta g_{\text{布}} = (3.086 - 0.419\sigma)\Delta h \quad (g.u.)$$

注意：地表实测重力值是地下密度均匀体和密度不均匀地质体（如地质构造、岩矿体等）的综合影响。

上述校正消除了起伏地形上各测点与大地水准面或基准面密度均匀体对实测重力值的影响，**并没有消除密度不均匀体的影响。**

因此，对于校正后仅由密度不均匀体引起的异常而言，**上述各项校正后，各测点仍在起伏的自然表面上。**



4、正常场校正 ($\delta g_{\text{正}}$)

校正原因：当测点与总基点不在同一纬度时，测点重力值包含了总基点与测点间的正常重力场的差值，这一差值需要消除。

校正办法：

(1) 在大面积测量时，按1909赫尔默特公式计算正常重力值，再从观测值中减掉它；

(2) 在小面积重力测量中按下式计算：

$$\Delta g_{\text{正}} = -8.14 \cdot \sin 2\varphi \cdot D \quad (g.u.)$$

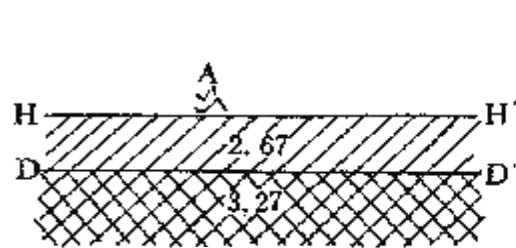
φ 为总基点纬度或测区的平均纬度； D 为测点到总基点的纬向（南北向）距离，在北半球，当测点位于总基点以北时 D 取正号，反之取负号，单位 km。

二、重力测量所观测的重力异常

1、自由空间重力异常

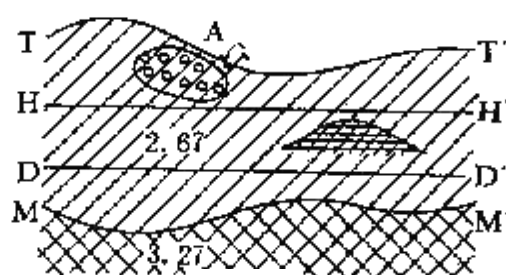
2、布格重力异常

3、均衡重力异常



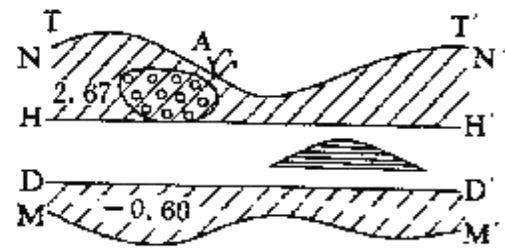
$$g_{\varphi}$$

(a)



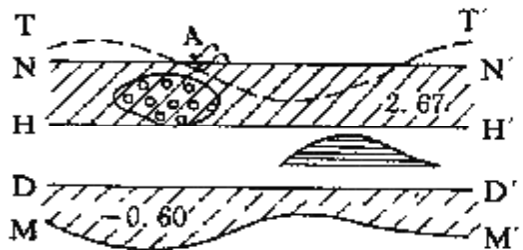
$$g_k$$

(b)



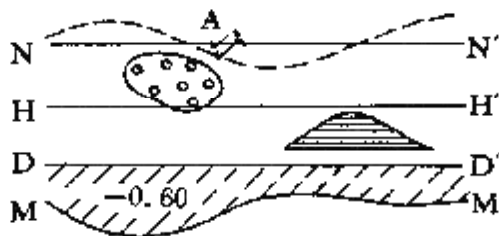
$$\Delta g_{FI} = g_k + \Delta g_h - g_{\varphi}$$

(c)



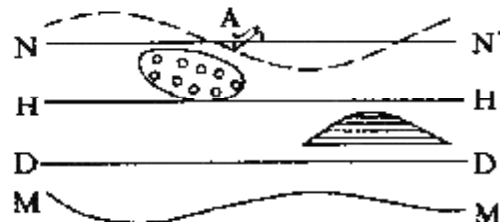
$$\Delta g_{FI} = g_k + \Delta g_h + \Delta g_T - g_{\varphi}$$

(d)



$$\Delta g_B = g_k + \Delta g_h + \Delta g_T + \Delta g_{\sigma} - g_{\varphi}$$

(e)



$$\Delta g_C = \Delta g_B + \delta g_c$$

(f)

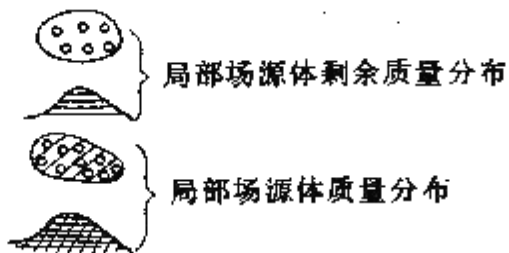
TT' - 地表面

NN' - 通过测点的水平面

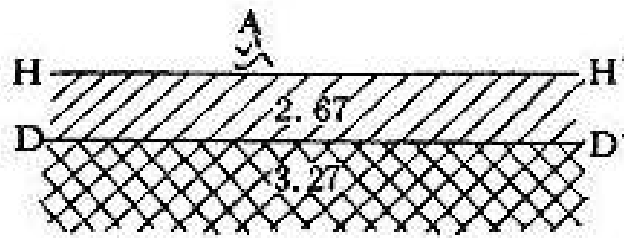
HH' - 大地水准面

DD' - 正常地壳厚度平面

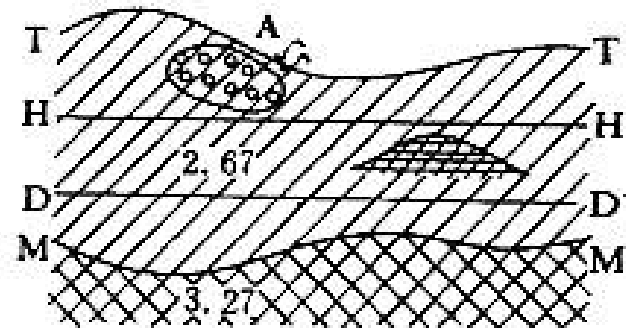
MM' - 莫霍面



1、自由空间重力异常



g_{ϕ} 正常重力



g_k

TT' - 地表面
 NN' - 通过测点的水平面
 HH' - 大地水准面
 DD' - 正常地壳厚度平面
 MM' - 莫霍面



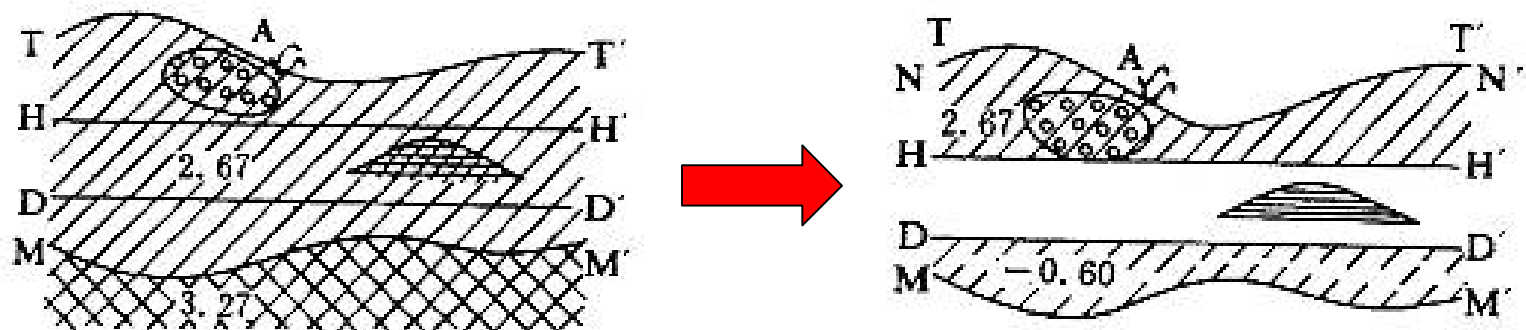
局部场源体剩余质量分布

局部场源体质量分布

左图为正常重力值对应的参考椭球体；右图为实际的地球，A为地表的一个测点，设 g_k 代表该点的重力观测值， g_{ψ} 是A点在大地水准面上投影点处的正常重力值。

1、自由空间重力异常

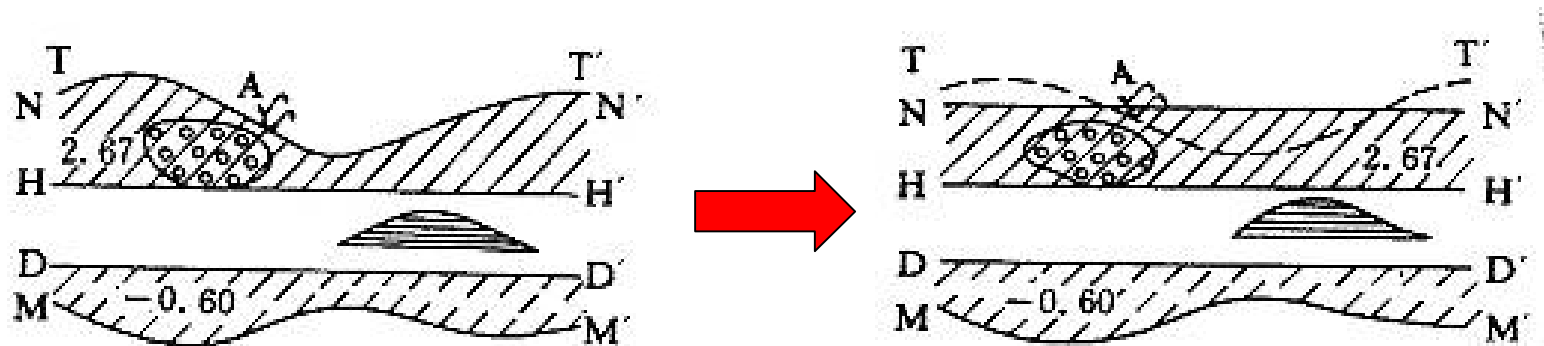
自由空间重力异常就是对观测值仅作正常场校正和高度校正，反映的是实际地球的形状和质量分布与参考椭球体的偏差：



$$\Delta g_{FI} = g_k + \Delta g_h - g_\varphi$$

1、自由空间重力异常

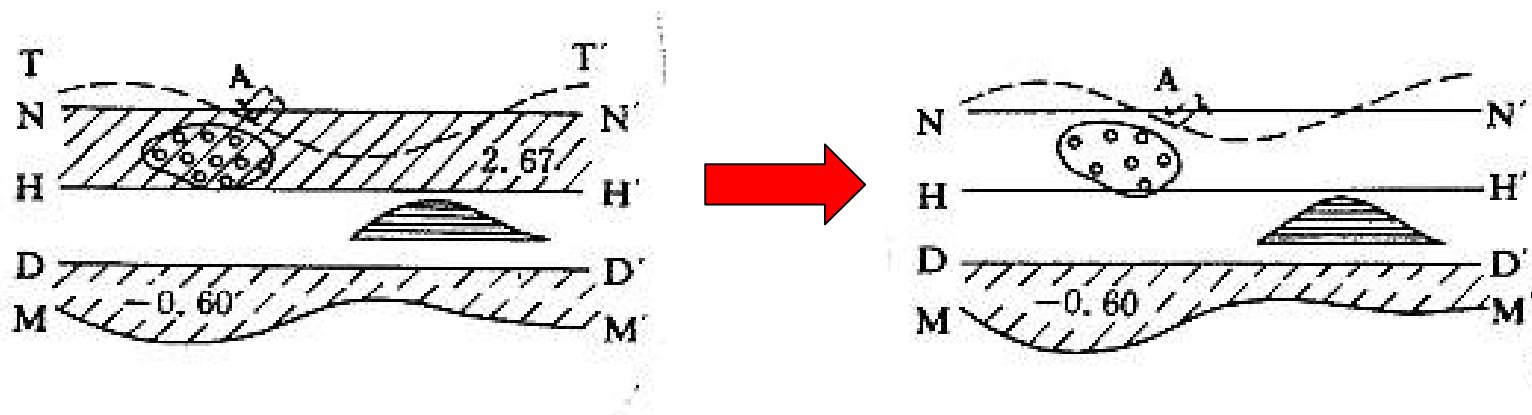
Δg_{FI} 中还包含有地形影响的因素在内若加上局部地形校正，即得到第二种自由空间重力异常，常称为法耶异常：



$$\Delta g_{FII} = g_k + \Delta g_h + \Delta g_T - g_\phi$$

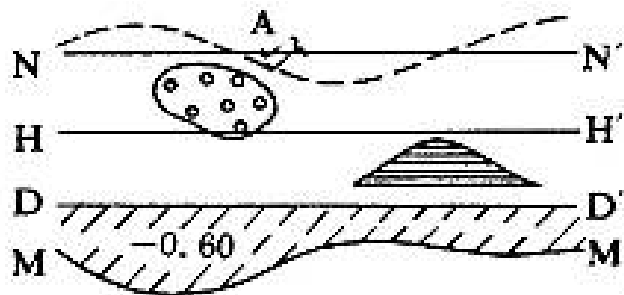
2、布格重力异常

在法耶异常基础上再加上中间层校正，即经过正常场校正、地形校正、布格校正（高度校正和中间层校正）的重力异常，称为布格重力异常。



$$\Delta g_B = g_k + \Delta g_h + \Delta g_T + \Delta g_\sigma - g_\varphi$$

2、布格重力异常



TT' — 地表面

NN' — 通过测点的水平面

HH' — 大地水准面

DD' — 正常地壳厚度平面

MM' — 莫霍面

$$\Delta g_B = g_k + \Delta g_h + \Delta g_T + \Delta g_\sigma - g_\varphi$$

布格异常包含了壳内各种偏离正常密度分布的矿体、构造等的影响，同时还包括了地壳下界面起伏在横向上相对上地幔质量的巨大亏损(或盈余)的影响，正因为如此，布格异常除有局部的起伏变化，在山区是大面积大幅度的负异常背景，而在海洋区则为正异常。

- 布格重力异常是应用最为广泛的一种重力异常。经过各项校正后，消除了观测面以下正常密度分布的重力作用，但是对于异常/剩余密度分布的重力作用未作任何调整。
- 实际应用中，布格重力异常又分为绝对布格重力异常和相对布格重力异常。

相对布格重力异常

- 相对布格重力异常：取测区内总基点所在的水准面作为比较各测点异常值大小的基准面，重力观测值为测点相对于总基点的重力差值，布格校正所用的高程是测点相对于总基点的相对高程，密度用当地地表实测的平均密度值，正常场校正可用纬度校正代替。
- 相对布格重力异常多用于小面积、大比例尺的测量中，便于对局部的异常做较深入的分析。

绝对布格重力异常

- 绝对布格重力异常的计算是以大地水准面为比较各测点重力异常大小的基准面，布格校正用的高程是测点的海拔高度，密度用统一规定的 2.67g/cm^3 。
- 绝对布格重力异常用在中、小比例尺中，便于大面积的拼图和统一解释。

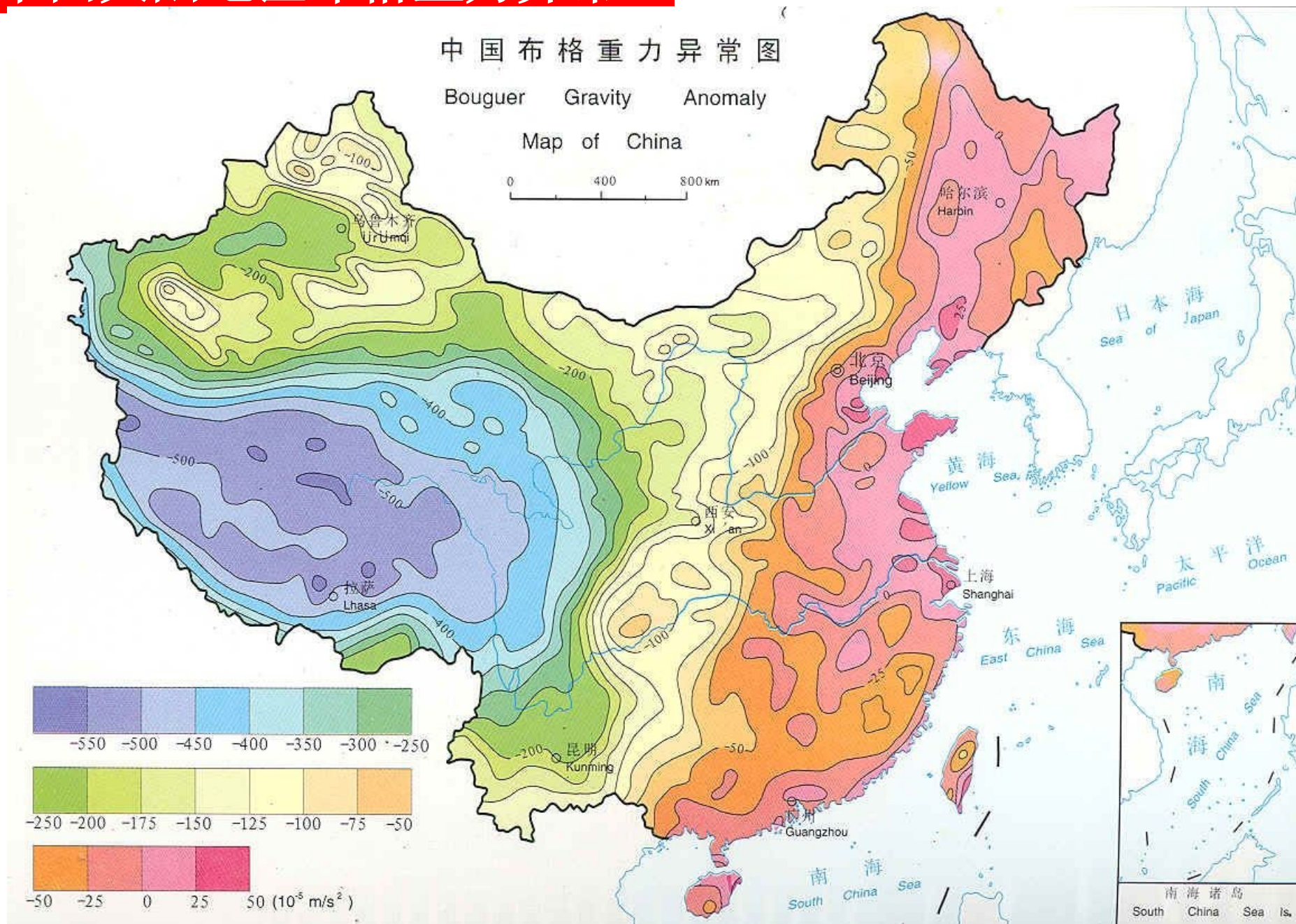
布格重力异常的复杂性

- 布格重力异常是地球内部所有密度不均匀体引起的叠加异常，是一种体积效应。
- 叠加异常中的一部分，主要是由分布较广的中、深部地质因素的重力效应；一部分是浅层和局部的密度体的重力效应；还包含各种干扰因素。
- 不同地质因素引起的异常在幅度大小、分布范围、变化快慢等特征方面都不尽相同，因而所包含的信息量是很大的。
- 但是，不同因素引起的异常叠加在一起，又给异常的识别、区分和研究都带来了相当大的困难。

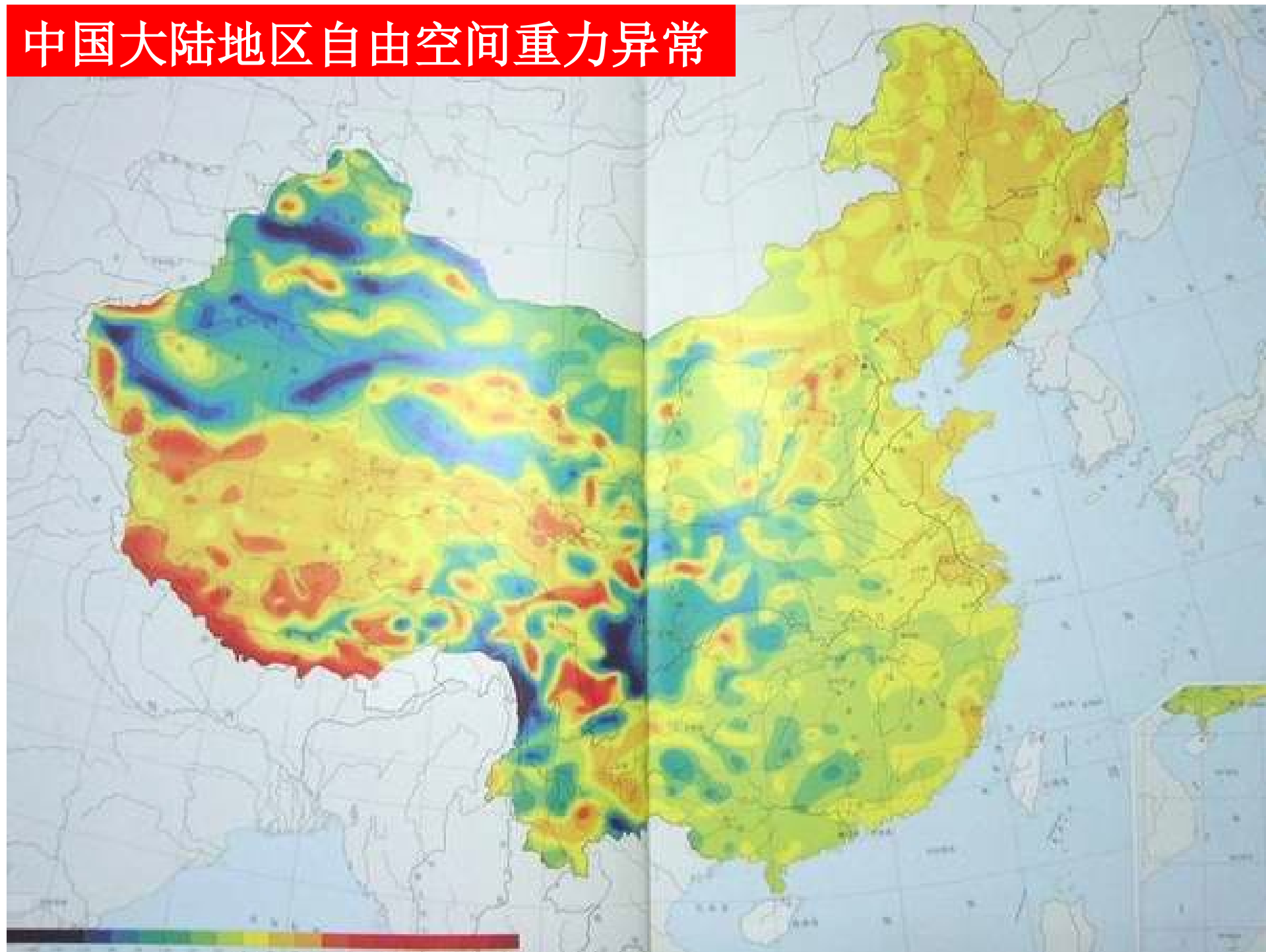
布格重力异常的均衡意义

- 如果地形起伏仅仅是在密度基本上正常分布的地球表面造成局部的质量亏损或盈余，经过布格校正后的重力异常应该不大且无系统偏差。
- 但是，布格重力异常在山区表现为大范围的负值，山越高负值越大，说明山底下应有某种形式的物质亏损以补偿山体质量相对于周围地区造成的盈余。
- 这体现（隐含）了质量均衡的思想。

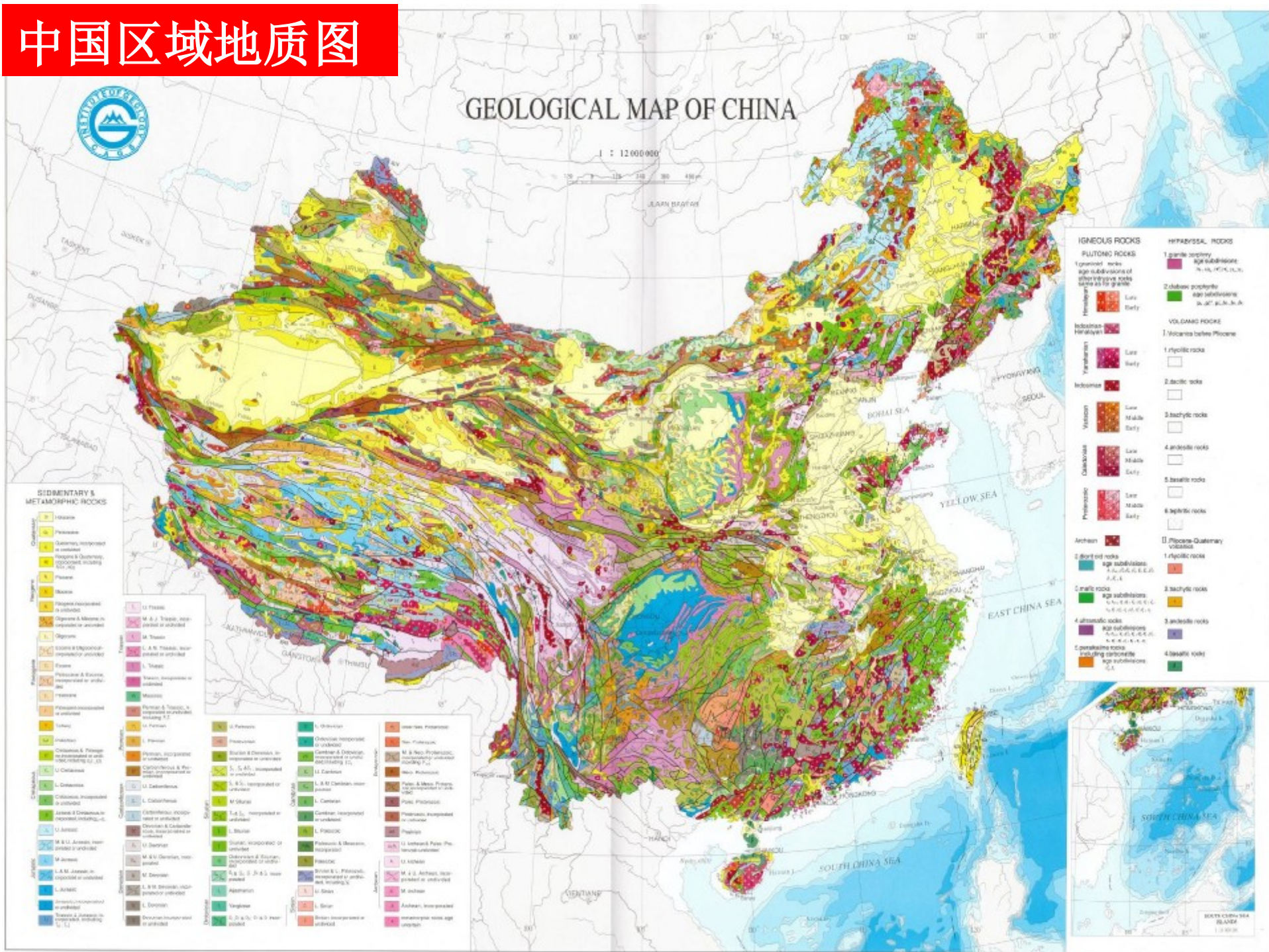
中国大陆地区布格重力异常



中国大陆地区自由空间重力异常



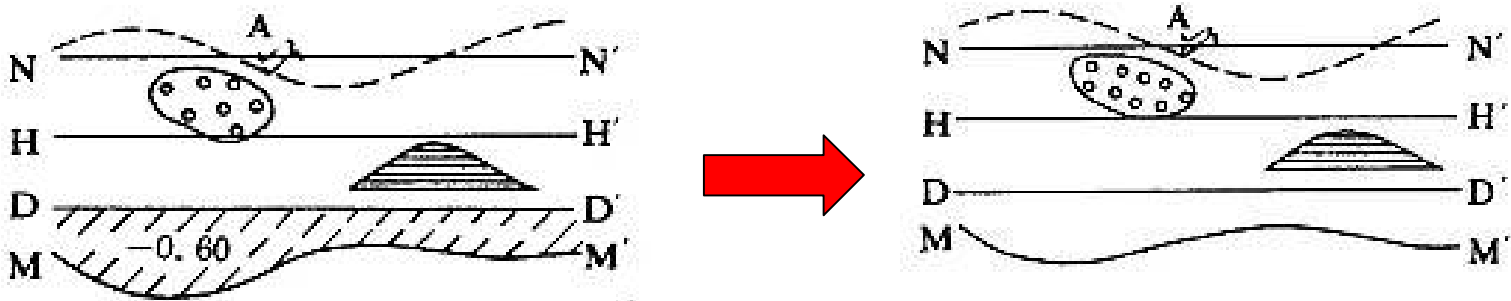
中国区域地质图

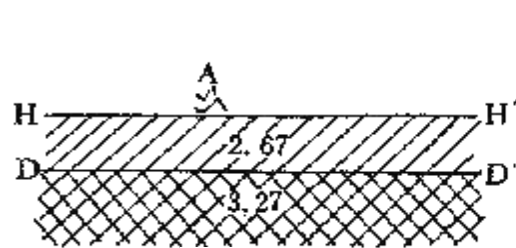


3、均衡重力异常

对布格重力异常再作均衡校正，即得均衡异常。表示了一种完全均衡状态下其异常所代表的意义

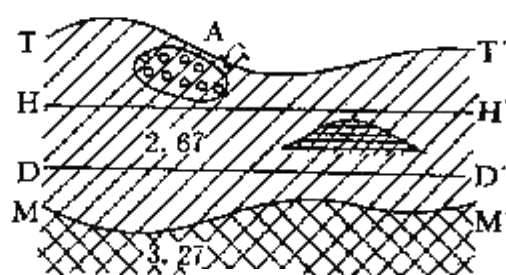
$$\Delta g_C = \Delta g_B + \delta g_c$$





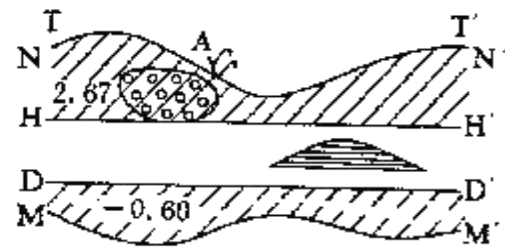
$$g_{\varphi}$$

(a)



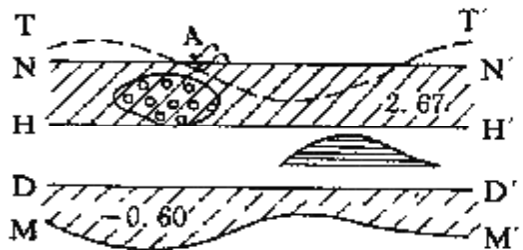
$$g_k$$

(b)



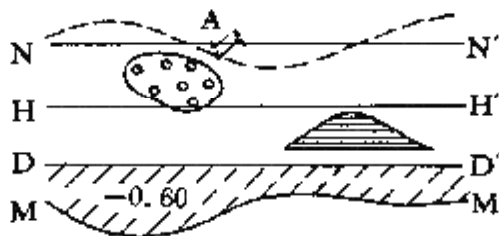
$$\Delta g_{FI} = g_k + \Delta g_h - g_{\varphi}$$

(c)



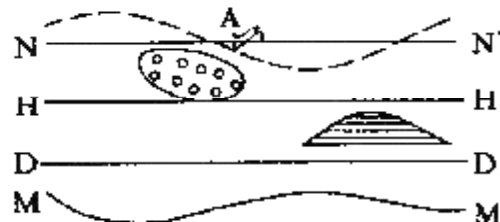
$$\Delta g_{FII} = g_k + \Delta g_h + \Delta g_T - g_{\varphi}$$

(d)



$$\Delta g_B = g_k + \Delta g_h + \Delta g_T + \Delta g_{\sigma} - g_{\varphi}$$

(e)



$$\Delta g_C = \Delta g_B + \delta g_c$$

(f)

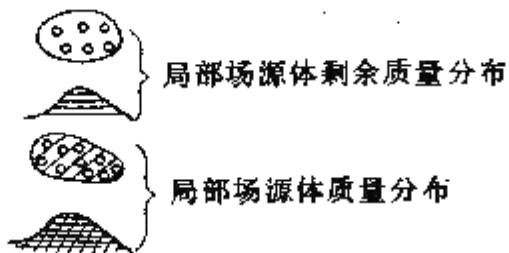
TT' - 地表面

NN' - 通过测点的水平面

HH' - 大地水准面

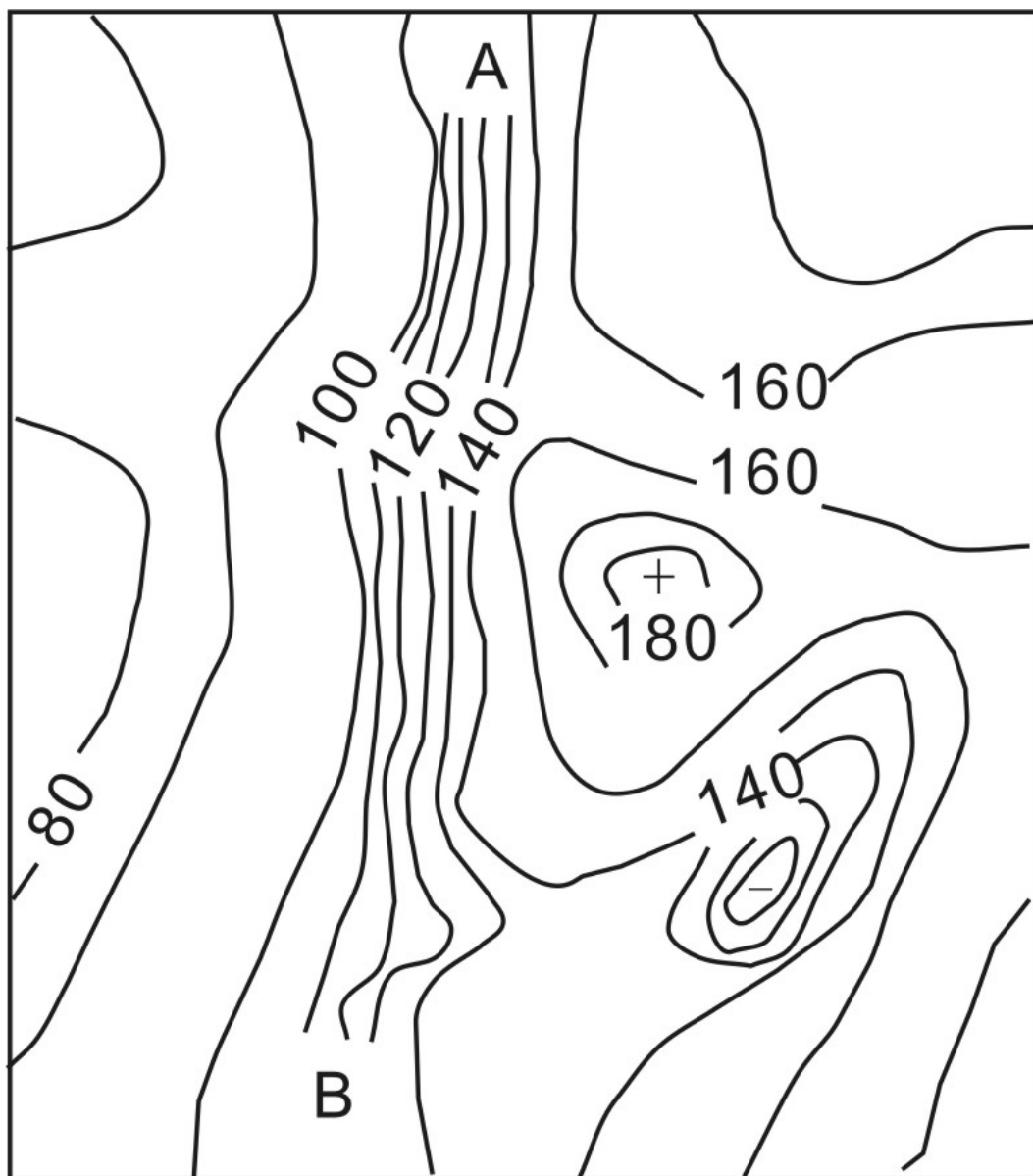
DD' - 正常地壳厚度平面

MM' - 莫霍面



三、重力异常的图示

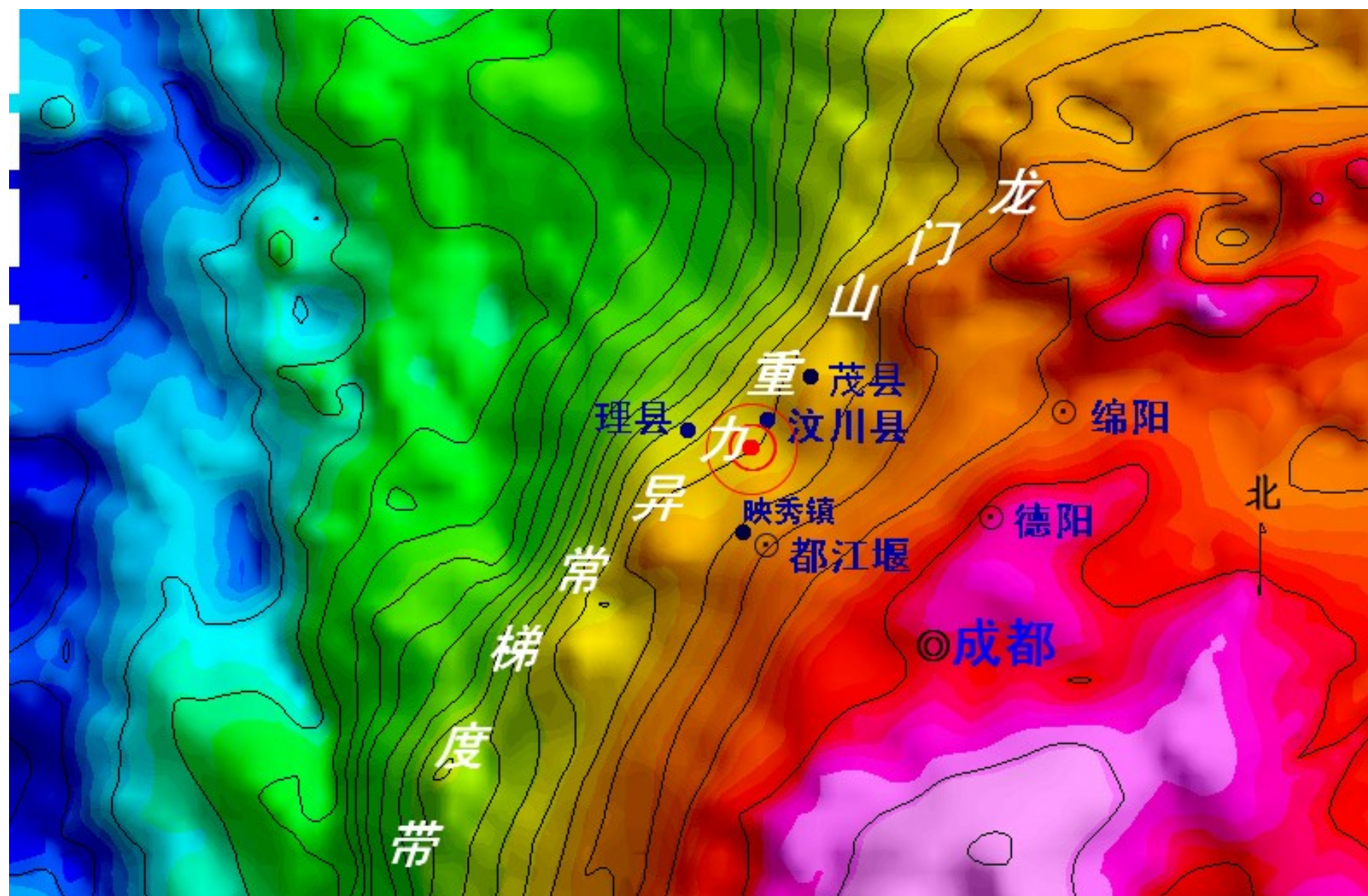
- 1、重力异常等值线平面图
- 2、重力异常剖面图
- 3、重力异常平剖图



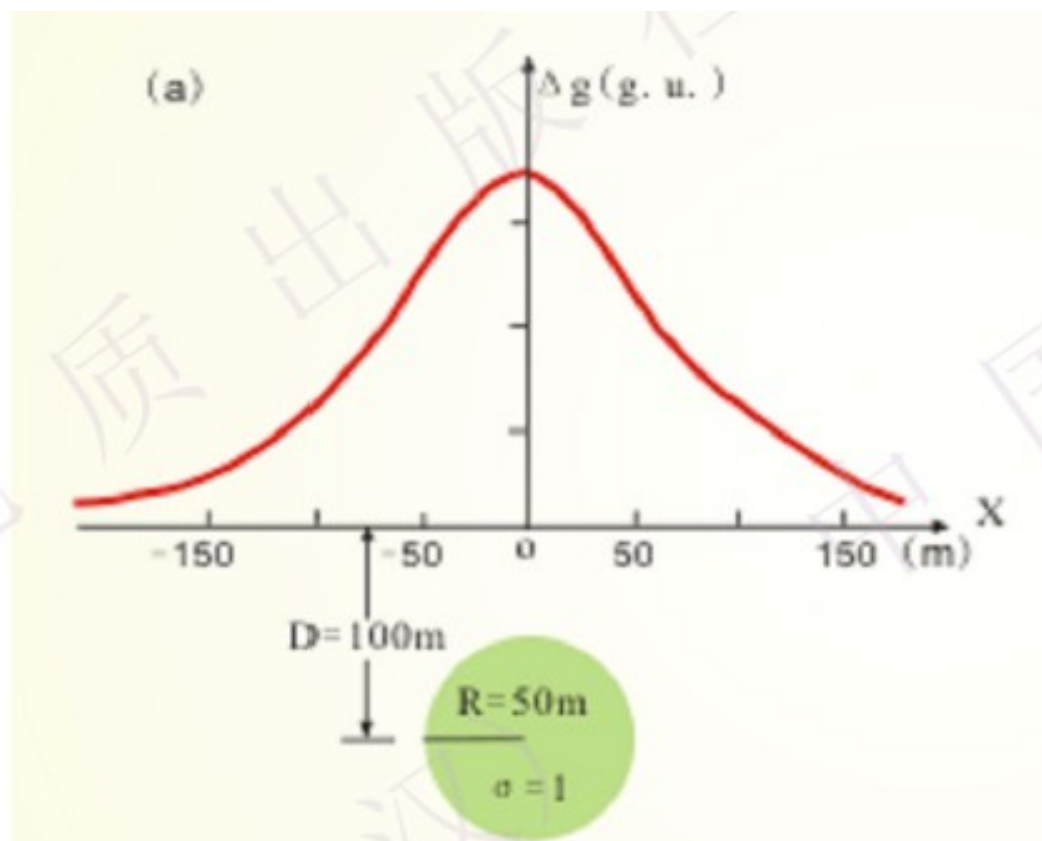
重力高

重力低

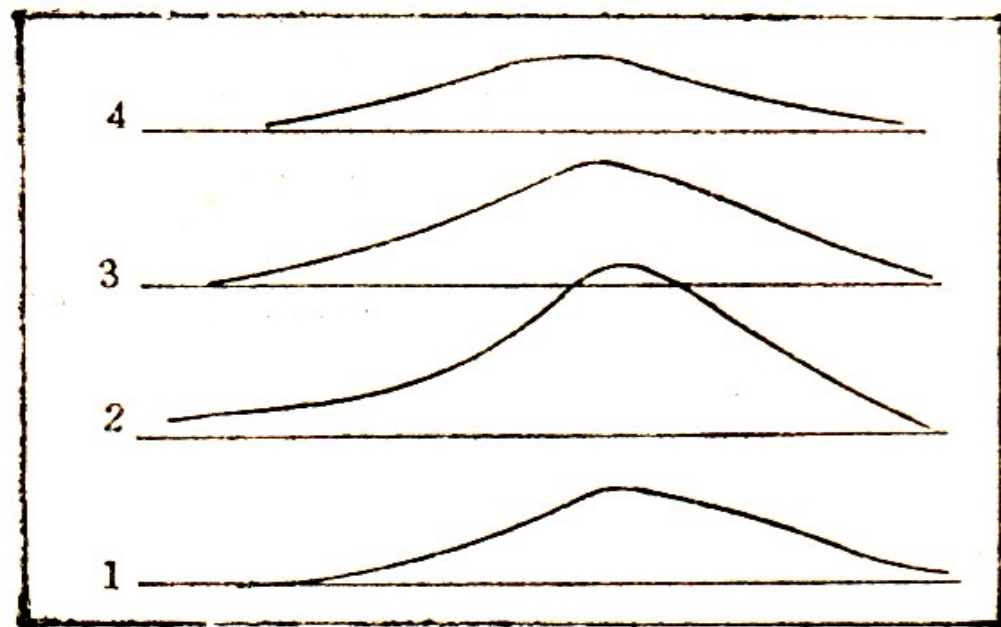
重力梯级带



重力异常剖面图



重力异常平剖图



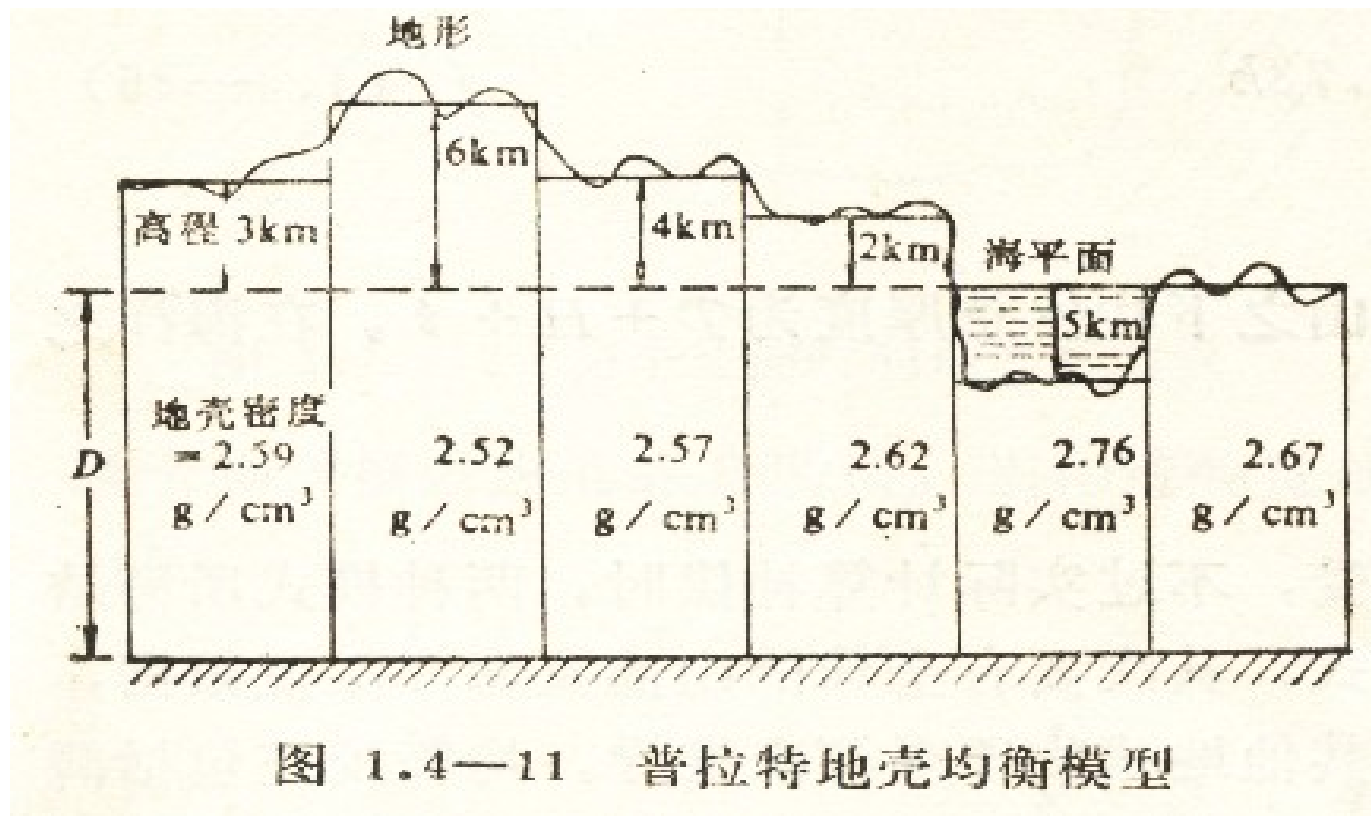
图按测线实际位置和方向展布在同一平面上

延伸： 均衡理论与均衡异常

均衡理论

如果地形起伏仅仅是多余(或亏损)的物质附加在一个大致均匀的地球表面，则经过布格校正之后，重力异常应当不大，且无系统偏差。但事实并非如此，山区的重力异常往往是负的，大约每升高一千米，异常约减小上千个 g.u.，这表明在高山之下有某种物质的短缺，因而对地形的重力影响产生一种补偿作用。

为解释这种现象，普拉特在1855年提出一个假设。他认为地下从某一深度算起(称补偿深度)，以下物质的密度是均匀的，但以上的物质，则相同截面的柱体保持相同的总质量，因此地形越高，密度越小，即在垂直方向是均匀膨胀的



同一年，另外一个英国人艾里(G.B.Airy)提出另一种假设。他认为可把地壳视为较轻的均质岩石柱体，漂浮在较重的均质岩浆之上、处于静力平衡状态，根据阿基米德浮力原理可知，山愈高则陷入岩浆愈深形成山跟，而海愈深则缺失的质量越多，岩浆将向上凸出也愈高，形成反山根。

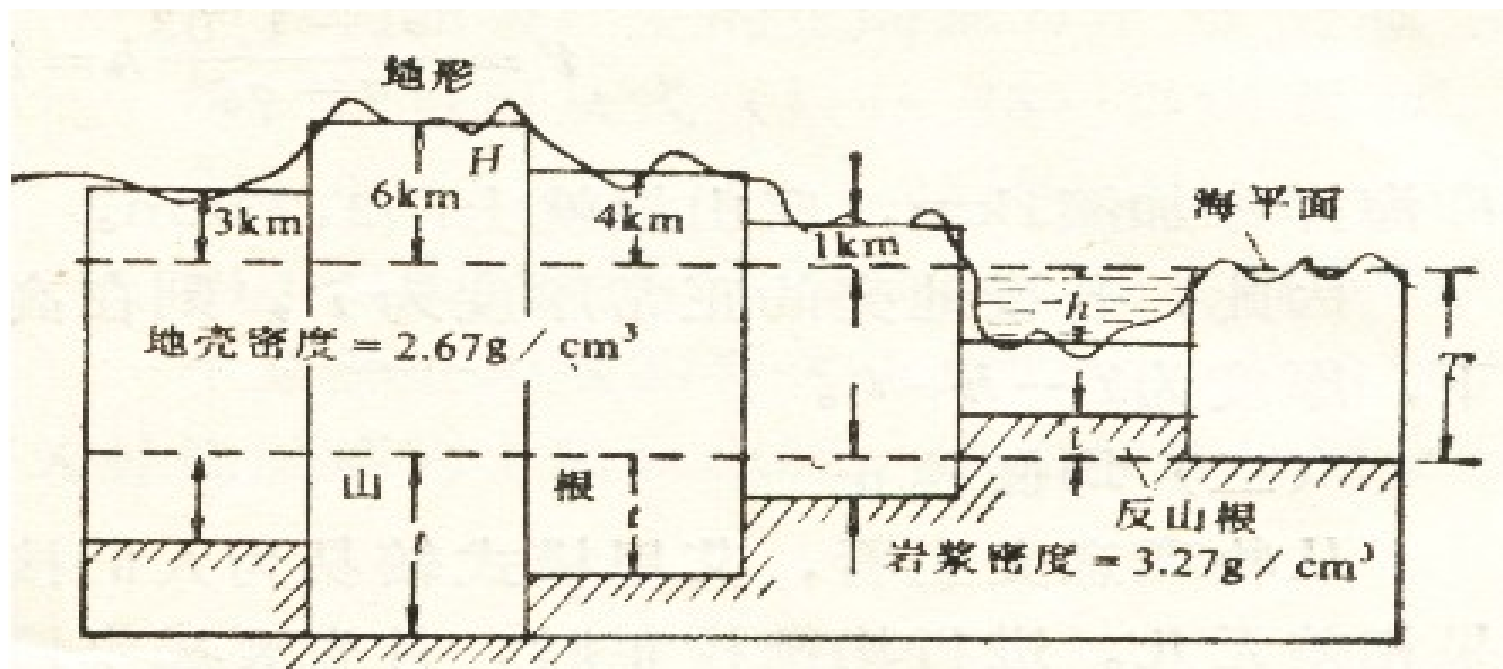
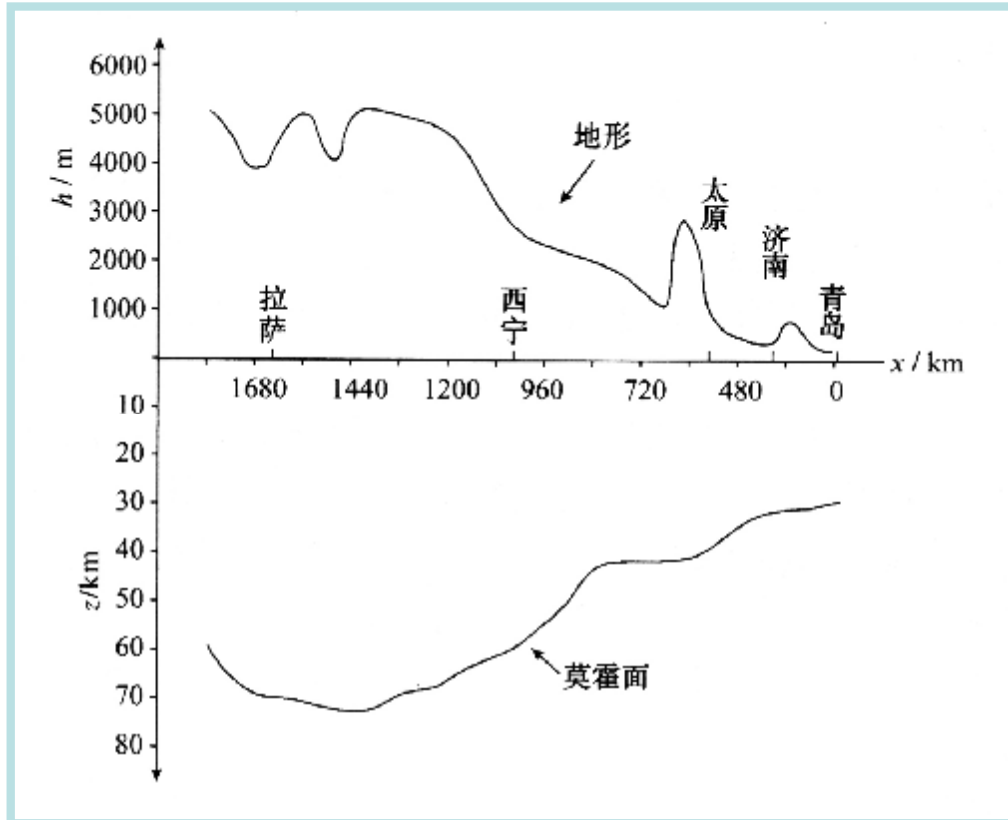


图 1.4—12 艾里地壳均衡模型

中国部分地区地形起伏与相应地壳厚度变化对比剖面



- 我国的一条东西向，由青岛通过济南、西宁、拉萨直到边境的地形起伏及地壳厚度变化的剖面。
- 地壳厚度变化数据取自根据地震测深资料绘制的我国“莫霍界面深度图”（朱介寿等，**1996**），地形剖面的数据取自“中国地形”（中国地图出版社，**1990**）。
- 地形起伏与地壳厚度变化成反相关关系，遵循了艾里的均衡假说；同时“莫霍界面深度图”和“中国地形”图中高程变化的非常好的反相关关系表明我国在总体上达到了地壳均衡。

均衡校正:改正方法与所采用的均衡假说有关。

第一步:将大地水准面以上多余的按正常地壳密度分布的物质全部移去, 即遍及全球的地形校正.

第二步将这移去的质量全部填补到大地水准面以下至均衡补偿面之间(或是山根与反山根)的范围内, 并计算出填补进去的物质在测点处产生的引力铅垂分量, 加到布格异常中去, 便得到均衡重力异常 Δg_c

$$\Delta g_c = \Delta g_B + \delta g_c$$

式中 δg_c 为均衡校正

- 经过以上两步改正之后，测点的重力值相当于地球的自然表面与海平面重合、地球内部物质为均匀情况下的重力值。
- 经过纬度、高度和均衡改正的异常，称为均衡异常。

均衡重力异常

均衡异常接近于零——大地水准面以上多出的物质正好补偿了大地水准面至均衡面之间缺失的物质

均衡异常为正值 ——填补进去的物质数量超过了下面缺失的质量，地壳下界面还未达到正常地壳的深度，所以称补偿不足。

均衡异常为负值——填补进去的物质数量还不足以弥补下面质量的亏损，地壳下界面已超过正常地壳的深度，补偿过剩